## 乙酰胺一尿素一NaBr 熔体中 Ce-Sm-Co 合金膜的电化学制备

郭承育,王建朝,陈必清

(青海师范大学化学系,青海 西宁 810008)

摘 要:应用循环曲线法研究了在 353 K 的乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中  $Co^{2+}$  在 Cu 电极上的 电化学行为,获 知  $Co^{2+}$  电还原为金属 Co 是 一步不可逆过程,测得 a=0.25 和  $Do=3.24 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>; 而 Ce(III)、Sm(III) 不 能单独还原为 Ce 和 Sm,但可以 被 Co(II)诱导而 共沉积;由恒电位电解法得到非晶态的 Ce Sm-Co 合金膜,合 金膜中 Ce 和 Sm 的 含量随电位、时间和浓度的变化而变化。其合金膜中 Sm 的最高质量分数可以达到 47.98%, Ce 的最高质量分数可以达到 47.32%。

关键词:乙酰胺-尿素-NaBr熔体;电还原;诱导共沉积;Ce-Sm-Co合金膜 中图分类号:TG146.16 文献标识码:A 文章编号:1008-858X(2006)04-0033-05

稀土-钴合金具有许多优良的特殊性能, 可用来制造功能材料(如永磁材料和磁光材料 等)。不同的稀土元素与钴有不同的磁相互作 用,所以对磁体的磁性的作用也不同。而且稀 土金属的价格可直接影响到磁体的成本,可通 过调整合金成分,添加不同元素改变磁体的磁 性及温度特征,以满足不同元器件的需要<sup>1</sup>。

在尿素—NaBr 及尿素—NaBr—KBr 熔体中 电化学制备稀土钴二元合金已有报道<sup>[2-3]</sup>,因 为自然界的稀土族中, Ce 的含量最多,价格相 对便宜。针对乙酰胺—尿素—NaBr 熔体中制 备 Sm-Ce-Co 三元合金膜的可行性,及 Sm(III)、 Ce(III)和 Co(II)的电还原过程, Sm(III)、Ce (III)和 Co(II)的诱导共沉积条件和影响沉积 膜组成结构的因素进行了探索研究。

1 实验部分

无水 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>,用 CeO<sub>2</sub>(A. R 级,北京有研 稀土新材料股份有限公司) 与硝酸(A. R) 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(A. R) 反应得到 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 后,再控温

作者简介:郭承育(1965-)女,副教授.

413 K真空脱水制得。无水 Sm(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, 由 Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (质量分数为99.9%,北京有研稀土新材料股份 有限公司)和 HNO3(A, R) 经化学反应后在 pH =5~6条件下重结晶,再在353 K 下真空干燥 制得。CoCle(A.R 级,北京红星化工厂)经真空 脱水处理。把干燥过的尿素(质量分数 28.0%, A. R 级, 北京化工厂) - 乙酰胺(A. R 级,北京化工厂)—NaBr(质量分数 6.67%, A. R 级,西安化学试剂厂)放进三电极电解池中,混 合均匀,为了更有利于沉积,控温在353 K 恒温 油浴中加热将其熔融作为本体熔体。实验在恒 温和氩气气氛下进行。参比电极(RE)为 Ag/ acetamide – urea – NaBr, 辅助电极(CE)为铂 (99.9%)片,研究电极(WE)为铂丝(99.9%, 0.07 cm<sup>2</sup>) 和铜丝(99.9%, 0.18 cm<sup>2</sup>)。研究电 极每次使用前必需清洗干净方可使用。使用 HDV-7C 晶体管恒电位仪(福建三明无线电二  $(\Box)$ , 3086X — Y函数记录仪(四川仪表四厂), HD-IA 型低频一超低频讯号发生器(福建三明 无线电二厂)进行电化学性能测量;使用铜薄片

收稿日期: 2006-04-21 修改日期: 2006-08-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50264004)

(99.9%)作为电沉积基体,沉积物用丙酮 (A.R)清洗除去表面有机物及盐份,组成用 X 一射线能量色散谱仪(OXFORD INSTRUMENTS, 英国)作 EDS 分析,用低真空扫描电子显微镜 (日本电子株式会社)观察沉积物的表面形貌, 并对沉积膜进行 X 射线衍射分析。

## 2 结果与讨论

## 2.1 乙酰胺一尿素一NaBr 熔体中 Sm(Ⅲ)、Ce (Ⅲ)的电化学性质

图1中a是Cu(0.35 cm<sup>2</sup>)电极在乙酰胺-尿素-NaBr中的循环伏安(CV)曲线, 阴极极限 电位为-1.50 V, 阳极极限为0 V, 电化学窗口 为1.50 V。该体系的电化学窗口完全满足本实 验的要求。在阴极极限电位处出现的还原电流 为熔体分解而产生的电流, 在阳极极限电位处 出现的氧化电流为阴极极限电位处在电极上熔 体分解产物的再溶而产生的电流。在图中再无 峰出现, 说明体系不含在该电化学窗口中可以 被氧化或还原的杂质成分。



图 1 循环伏安(CV)曲线:(a) Cu 电极在乙酰胺—尿 素—NaBr 中的 CV 曲线(扫速 50mV/s);(b) 单独加入  $Ce(NO_3)_3(0\ 03mol^{\circ}L^{-1})$ 上述体系 CV 曲线;(c)单独 加入 Sm(NO\_3)\_3,(0\ 03mol^{\circ}L^{-1}) 上述体系 CV 曲线 Fig. 1 CV curves of Cu electrode in: (a) Acetamide Urea-NaBr (AUS) melt system; (b)  $Ce(NO_3)_3(0\ 03\ mol^{\circ}L^{-1})$  added to AUS; (c)  $Sm(NO_3)_3(0\ 03\ mol^{\circ}L^{-1})$  added to AUS

图 1 中 b 是 Cu(0. 18 cm<sup>2</sup>) 电极在 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (0.03 mol°L<sup>-1</sup>) 一本体熔体中的循环伏安曲线, 与图 1 中 a 比较, 可看到: -1. 10 V 开始有还原 电流, 但没有明显的还原峰: 说明 Ce<sup>3+</sup> 的还原 电位很负,在此熔体中很难单独沉积出来,此时 的阴极电流为熔体的分解电流。图 1 中  $c \in Cu$  $(0.18 \text{ cm}^2)$  电 极 在 Sm  $(NO_3)_3$  $(0.03 \text{ mol}^{\circ}L^{-1})$ 一本体熔体中的循环伏安曲线, 与基本熔体的循环伏安曲线很相似,说明 Sm (III)在此熔体中也不能单独电沉积出来。



图 2 0 0 $\text{Bmol}^{\circ}\text{L}^{-1}\text{CoCl}_2$ 一乙酰胺—尿素—NaBr 熔体 中在 Cu 电极上不同扫描速度下的循环伏安(CV) 曲线 (a) 20 mV  $^{\circ}\text{s}^{-1}$ ; (b) 50 mV  $^{\circ}\text{s}^{-1}$ ; (c) 100 mV  $^{\circ}\text{s}^{-1}$ ; (d) 200 mV  $^{\circ}\text{s}^{-1}$ 。

Fig. 2 CV curves of Cu electrode in the  $CoCl_2(0.03 \text{ mol} \circ L^{-1})$ -acetamlde-urea NaBr melt system at different scan rates: (a) 20 mV  $\circ$  s<sup>-1</sup>; (b) 50 mV  $\circ$  s<sup>-1</sup>; (c) 100 mV  $\circ$  s<sup>-1</sup>; (d) 200 mV  $\circ$  s<sup>-1</sup>



图 3 图 2的 Ep—  $\ln v$  图 Fig. 3 Ep—  $\ln v$  curve corresponding to Fig. 2

## 2.2 乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中 Co(II) 在 Cu 电极上的电化学行为

图 2 是 Cu 电极在乙酰胺一尿素一NaBr-CoCl<sub>2</sub>(0.05 mol/L) 熔体中不同扫速下的循环伏 安(CV) 曲线。负扫时出现一还原峰, 起峰电位 Publishing House. All rights reserved. http://www

在一0.62 V左右,随着扫描速率的不同,峰电位 在-0.75~-0.90V之间。此图的循环伏安 (CV)曲线与图 1 中 a Cu 电极在乙酰胺一尿素 -NaBr 熔体中的循环伏安(CV)曲线比较,可认 为此峰对应于 Co(II) 的还原峰; 在 Cu(99.9%) 基体上于-0.75~-0.90V分别选定合适的电 位点进行恒电位沉积 20 min, 可以得到一银灰 色、有金属光泽粘附性良好的沉积膜,沉积物用 EDS 分析为Co,进一步证明此峰为Co(II)的还 原峰,即Co<sup>2+</sup>+2e<sup>-</sup>→Co;回扫时没有明显的氧 化峰,可以认为 Co(H) 在铜基体上的还原是一 步完全不可逆反应。图上的阴极峰电位(Ep) 随扫描速率增大而负移,作 Ep~hv图,见图 3, 可得到一条直线,进一步证明在乙酰胺一尿素 -NaBr-CoCl<sub>2</sub>(0.05 mol°L<sup>-1</sup>) 熔体中,在Cu 电 极上 Co(II) 还原到 Co(0) 为一步完全不可逆反 应。对于完全不可逆反应,可由图 2 中 CV 曲 线的还原峰得半峰电位(Ep/2) 与峰电位(Ep) 之差,  $|E_p l - E_p|$ 的平均值为0.119 V, 由  $|E_p|$  $|2-E_p| = 1.857 RT/(\alpha nF),$ 可求得电荷传递系 数(平均值) α = 0.25。在353 K 下的 *Ip* = 0.4958 nF( $\alpha$  nFD<sub>0</sub> v/RT)<sup>1/2</sup>Ac<sup>[6]</sup>,其中 A 为电极 几何面积, D。为扩散系数, c 为电活性物浓度。 由实验数据,用阴极峰电流(Ip)对扫描速率平 方根作图具有良好的线性关系,如图4,其斜率 K=0.4958 nF(anF/RT)<sup>12</sup> $D_o^{12}Ac$ ,可求得353 K 时在  $CoCl_2(0.05 \text{ mol}^{\circ}L^{-1})$  - 乙酰胺-尿素-NaBr 体系中 Co(II) 在 Cu 电极上的扩散系数  $D_0 = 3.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \, \text{s}^{-1}$ .



图 4 图 2 的  $I_p = v^{1/2}$ 图 Fig. 4  $I_p = v^{1/2}$  curve corresponding to Fig. 2

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic

- 2.3 乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中 Ce(III)、Sm (III)与 Co(II)的共沉积
- 2.3.1 乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中Ce(III)、 Sm(III)与Co(II)的电化学行为



图 5 Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(0 03md°L<sup>-1</sup>)-Sm(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(0 03md° L<sup>-1</sup>)-CoCl<sub>2</sub>(0 05 mol°L<sup>-1</sup>)-本体熔体中的 CV 曲线 (扫速为 50mV/s)

Fig. 5 CV curves of Cu electrode in the Ce  $(NO_3)_3$ (0 03 mol ° L<sup>-1</sup>) -Sm  $(NO_3)_3$  (0 03 mol ° L<sup>-1</sup>)-CoCl<sub>2</sub> (0 05 mol ° L<sup>-1</sup>) -AUS melt system at a scan rate of 50mV °s<sup>-1</sup>

图 5 是 Cu 电极在 Ce (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (0.03 mol°L<sup>-1</sup>) - CoCl<sub>2</sub> (0.05 mol°L<sup>-1</sup>) - 本体 熔体中的循环伏安曲线。可看到负扫时在 -0.85 V左右出现一个还原峰,起峰电位为 -0.60 V,峰电流显著加强,说明在电极上的还 原反应有所变化,有可能 Ce(III)、Sm(III) 与 Co (II) 发生了诱导共沉积。根据图 5 选择 -0.85 V的阴极电位,用铜(99.9%) 片作阴极 进行恒电位电解;沉积物为黑色,其组分由 EDS 分析含有 Ce、Sm 和 Co,证实 Co(II)诱导 Ce (III)、Sm(III)发生了诱导共沉积。

2.3.2 沉积电位的影响

在 Ce (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (0.03 mol<sup>°</sup>L<sup><sup>-1</sup></sup>)-Sm (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (0.03 mol<sup>°</sup>L<sup><sup>-1</sup></sup>)-CoCl<sub>2</sub>(0.05 mol<sup>°</sup>L<sup><sup>-1</sup></sup>)-的熔体中 用纯铜片作阴极, 根据上述循环伏安曲线选取 沉积电位分别为-0.75、-0.85 V、-0.95 V、-1.05 V, 进行恒电位电解20 min, 实验结果所 得的沉积膜用 EDS 分析其组成, 结果见表 1。 表中数据表明: 沉积合金膜中 Ce 的含量随着阴 极电位的负移而增大,其最大质量分数达 29.43 %; Sm 的含量随着阴极电位的负移也增 大,其最大质量分数达18.54%。沉积膜与铜 基体的结合力很强,致密、均匀,膜的颜色为 黑色且随着 Ce、Sm 含量的增加而加深。但沉 积层的质量随电位继续负移而逐渐变差,这是 因为在阴极沉积电位较大接近极限电位时,沉 积电流较大,熔体开始分解,造成阴极表面产 生严重的析氢现象。

表 1 不同阴极电位下 Ce-Sm-Co 合金膜的组成(20min) Table 1 Composition of the Ce-Sm-Co alloy film under different cathodic voltages for 20 min

E/ V	- 0. 75	-0.85	-0.95	- 1. 05
w(Ce)	8.37	27.40	29.28	29. 43
w(Sm)	4.82	8.31	8.30	18 54
w(Co)	86.81	64.29	62 42	52 03

 3.3 不同Ce(III) Sm(III) Co(II)的摩尔比 对合金成分的影响

对在不同 Ce( III)/Sm( III)/Co( II) 摩尔比 条件下控制阴极电位-0.85 V进行恒电位电解 20 min所得的沉积膜进行 EDS 分析,结果见表 2。分析说明:随着 Ce( III)/Sm( III)/Co( II) 摩 尔比的增大, Ce 和 Sm 在沉积合金中的含量增 加,这是由于熔体中 Ce(III) /Sm(III) /Co(II) 摩 尔比越大, Ce(III)、Sm(III) 在熔体中的浓度越 大,在基体上同时还原得到的 Ce、Sm 的含量越 大。进一步分析发现:随着 Ce(III)/Sm(III) 摩 尔比的增大, Sm 在沉积合金中含量的增加程度 大于 Ce, 说明在该体系中 Co(II) 对 Sm(III) 的 诱导能力相对较强。

表 2 不同的量比时 Ce-Sm-Co 合金膜的组成(-0.85V/20min)

Table 2 Composition of the Ce-Sm-Co alloy film for different Ce(III)-Sm(III)-Co(II) molar ratios, under 0.85V for 20 min

n(Ce(III))/n(Sm(III))/n(Co(II))	0.6:0.6:1	1:0.8:1	1 4 • 1 • 1	1. 8 • 1. 2 • 1
w(Ce)	27.40	27.86	40.42	47. 32
w(Sm)	8 31	17. 27	35. 74	44. 18
<i>w</i> (Co)	64. 29	54.87	23.84	8 5

2.3.4 恒电位下不同的电解时间对合金成分的影响

电解的时间也对合金的含量有所影响。对 在 Ce (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (0.07 mol °L<sup>-1</sup>) -Sm (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (0.05 mol °L<sup>-1</sup>) -CoCl<sub>2</sub>(0.05 mol °L<sup>-1</sup>) -本体熔体中,控 制阴极电位—0.85 V 电解不同时间所得沉积 膜进行 EDS 分析,结果见表 3。结果显示:随着 电解时间的增长 Ce、Sm 含量先依次增大后减 小。这可能是随着沉积时间增长,在铜基体上还 原出的合金膜厚度的增加,防碍了Sm、Ce与Cu的 欠电位沉积,从而使Sm、Ce的沉积电位正移程度 减小,使Sm、Ce的沉积速率随时间延长有所减小; 而Co的还原电位较正,与铜基体不存在欠电位沉 积的影响,沉积速率不发生改变。这样最终就有 了随着时间的增长,Sm、Ce的质量分数逐渐减小, 而Co的质量分数依次增大的规律。

表 3 恒电位时不同电解时间下 Ce Sm-Co 合金膜的组成(1.4\*1\*1/-0.85V)

Table 3	Composition of	of the C	e-Sm-Co	al loy	film for	different	deposition	periods,	under-	-0. 85V	,
---------	----------------	----------	---------	--------	----------	-----------	------------	----------	--------	---------	---

with a Ce( III)-Sm( III)-Co( II) molar ratio of 1.4:1:1

$t/\min$	10	20	30	40
<i>w</i> (Ce)	30 48	40.42	35. 08	20 75
w(Sm)	23 40	35. 74	47. 98	8 34
w(Co)	46 12	23. 84	16 94	70 61

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnl

## 2.4 沉积物的结构状态分析

如图 6. 从 EDS 分析结果和 SEM 可以看到. 所得沉积薄膜与铜基体的结合力都比较强、表 面致密、均匀,颜色为灰黑色。沉积膜的颜色随 电位的增高、沉积时间的增长而变浅,随 n(Ce (III))/n(Sm(III))/n(Co(II))的量比增大而加 深,当颜色越深时,结合力会变小,致密度和均 匀度都会有所降低。



**图** 6  $Ce(NO_3)_3(0.07mo1^{\circ}L^{-1})$ -Sm $(NO_3)_3(0.05 mol)$ <sup>°</sup>L<sup>-1</sup>)-CoCl,(0.05 mol<sup>°</sup>L<sup>-1</sup>)-乙酰胺-尿素-NaBr 熔体 中恒电位-0 85 v 电解 10 min 所得的 Ce-Sm-Co 沉 积膜 SEM 照片

Fig. 6 SEM images of the Ce-Sm-Co alloy film obtained in the Ce(NO<sub>3</sub>)  $_{3}$  (0.07 mol°L<sup>-1</sup>)-Sm(NO<sub>3</sub>)  $_{3}$  (0.05 mol° L<sup>-1</sup>)-CoCl<sub>2</sub> (0 05 mol ° L<sup>-1</sup>)-AUS melt system under-0.85 V for 10 min

用扫描电子显微镜(SEM)观察沉积物的表 面形貌时发现,沉积膜有细微的裂逢。这可能 是把附有沉积膜的铜片从熔体中取出,并用丙 酮清洗时,由于铜基体和合金膜的膨胀系数不 同而导致沉积膜出现裂缝。

对在Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(0.05 mo1°L<sup>-1</sup>)-Sm(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>  $(0.04 \text{ mol} \circ L^{-1})$ -CoCl<sub>2</sub> $(0.05 \text{ mol} \circ L^{-1})$ -乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中恒电位-0.85 V 电解 20 min 所得的 Ce-Sm-Co 沉积膜进行 X 射线衍射分析, 在衍射图中出现一漫散的峰。这种情况表明,

在电极上所形成的沉积膜为非晶态。

#### 结 3 论

①在乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中 Co(II) 在 353 K 时一步不可逆地还原为金属 Co。其在 铜电极上的传递系数和扩散系数分别为 a= 0.25 和  $D_0 = 3.24 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1};$ 

②在乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中 Ce( III) 和 Sm( III) 不能单独还原成为 Ce 和 Sm, 但是可 以被 Co( II) 诱导而共沉积;

③Ce 和Sm 在沉积合金中的含量随着阴极 电位的负移和 n(Ce(III))/n(Sm(III))/n(Co (II))量比的增大而增加,随着电解时间的增长 Ce、Sm 含量先依次增大后减小。合金膜中 Sm 的最高质量分数可以达到 47.98%, Ce 的最高 质量分数百分含量可以达到 47. 32%:

④在乙酰胺-尿素-NaBr 熔体中电沉积的 Ce-Sm-Co 合金膜是非晶态的。

## 参考文献:

- [1] 徐光宪.稀土[M].北京:冶金工业出版社,2002.8,12-13.23.
- [2] Liu Lizhi, Liu peng, Tong Yexiang, et al Electrodeposition on formation of Er-Co alby in urea-NaBr molten[ J] . Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunvatseni, 1999, 38(3): 119 -120.
- [3] Yang Qiqin, Qiu Kairong, Zhu Derong, et al Electrodeposition of Nd-Co, Tb-Co and Y-Co in urea-NaBr-KBr Melt[J]. Acta Physico-Chemica Sinica, 1995, 11 (5): 965-967.
- Yang Qiqin, Qiu Kairong, Zhu Derong, et al Eliectrodeposi-[4] tion of cobalt and rare earth-cobalt in urea-NaBr melt [ J]. Electrochemistry, 1995, 1(3): 274-277.
- Guo Chengyu, Wang Jianchao, Chen Biqing, et al Electro-[5] chemical studies on La-Co alloy film in acetamide-urea-NaBr melt system [ J] . Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2005, 15(5): 1190-1193
- [6] Bard A J, Faulkner L R. Electrochemical Methods, Foundamentals and Applicatioions[M]. New York: John Wliey &Sons, 1980. 222-223, 253.

(下转55页)

索新的碎矿、磨矿方法,预处理添加剂的选择尚 待完善,矿石中尚存的 Mo、Ni、Fe、Sb、Te、Se、Pb 和Zn 的回收应进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 胡为柏. 浮选[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1989.
- [2] 王常任. 磁电选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986.
- [3] 孙玉帛. 重力选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.
- [4] 选矿设计手册编委会.选矿设计手册[M].北京:冶金工

业出版社, 1988.

- [5] 黄礼煌. 化学选矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [6] 黄礼煌. 金银提取技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [7] 东北化工学院分析化学教研组.分析化学[M].北京:高等教育出版社, 1989.
- [8] 大连理工大学无机化学教研组. 无机化学(上、下册)
  [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [9] 胡熙庚. 有色金属硫化矿选矿[M]. 北京: 冶金工业出版 社,1987.

## Study on Treatment of the Au-Co-Bi Mineral Ore of Kendekeke

WANG Chun-bo, GAN Jin-lian

(The Analysis Center, of Qinghai Nonferrous Metals Survey, Xining 810007, China)

**Abstract**: By using a pretreatment-leaching technique, good separation of Au, Ag, Co, Ni, Cu, Mo, and Bi in the semi-oxidized ore from the Kendekeke mineral deposit was achieved. The leaching rates of Au, Ag, Co, Ni, Cu, and Mo were all higher than 90%, whereas the one for Bi is over 85%. **Key words**: Kendekeke: Mineral separation

(上接第37页)

# Electrodeposition of Ce-Sm-Co Film in Acetamide-Urea-NaBr Melt System

GUO Cheng-yu, WANG Jian-chao, CHEN Bi-qing (Department of Chemistry, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: The cyclic voltammetry method was used to study the behavior of  $\text{Co}^{2+}$  on Cu electrodes in acetamide-urea-NaBr (AUS) melt at 353 K. Electroreduction of  $\text{Co}^{2+}$  to metallic Co is irreversible in one step. The charge transfer coefficient  $\alpha$  and diffusivity were determined to be 0. 25 and 3.  $24 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , respectively. While Ce(III) and Sm(III) cannot be directly reduced to Ce and Sm, they can be inductively codeposited with  $\text{Co}^{2+}$ . The amorphous Ce-Sm-Co alloy films were obtained by potentiostatic electrolysis. The amount of Ce and Sm grows with increasing cathodic overpotential, the molar ratios of n(Ce(III)): n(Sm(III)): n(Co(II)), and the electrolysis time. The maximum amount of Ce in the alloy film reached to 47. 32% (wt) and 47. 98% (wt) for Sm, in the tested range.

Key words: A cetamide-usea-NaBr melt; Electroreduction; Inductive codeposition; Ce-Sm-Co alloy film